G. EIFFEL ET C[ie]
INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS
A LEVALLOIS-PERRET (SEINE)

GRAND PRIX A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878
CLASSE 66. — GÉNIE CIVIL

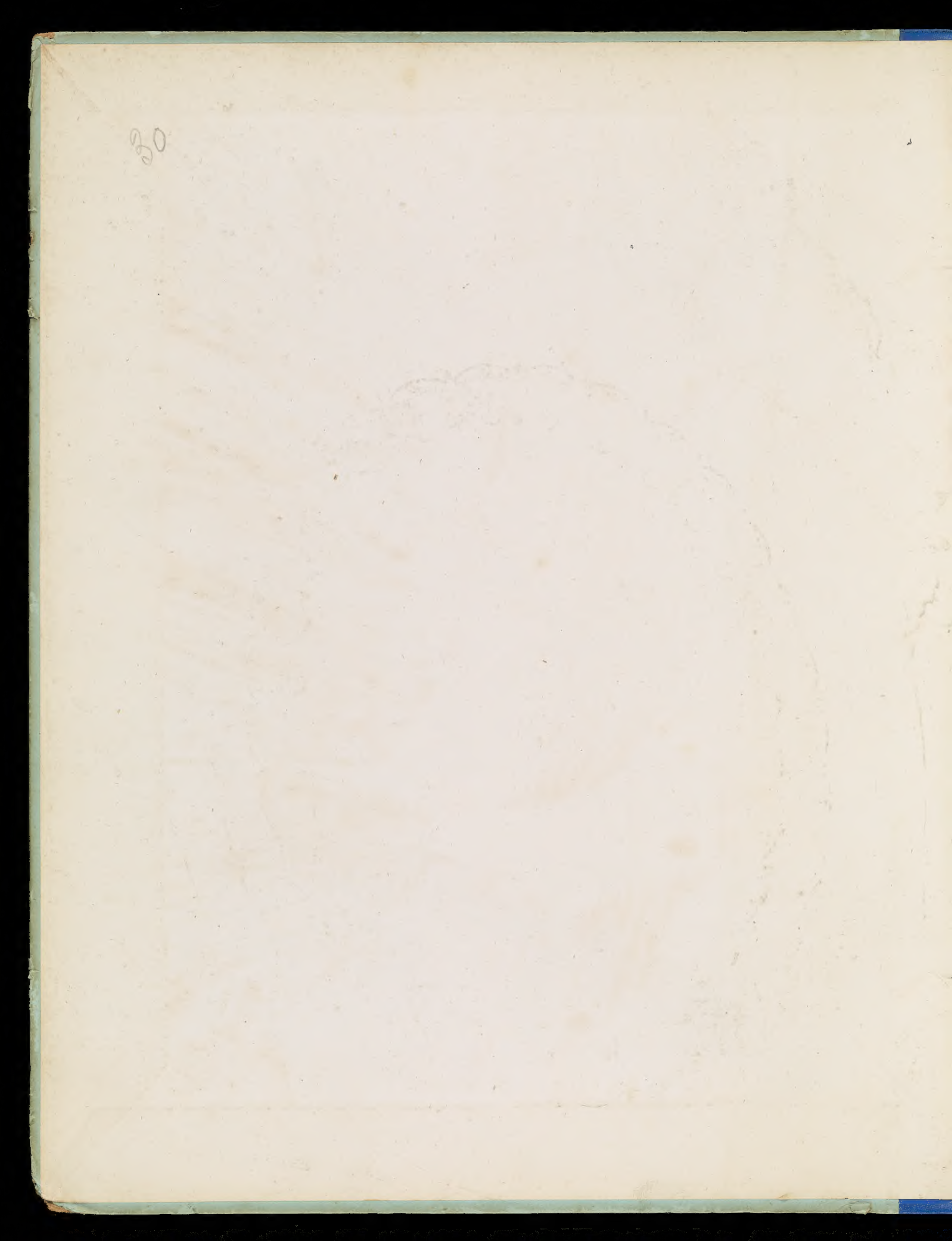
NOTICE
SUR LE
PONT DU DOURO, A PORTO
(PONT MARIA-PIA)

PAR

G. EIFFEL

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
COMMANDEUR DE L'ORDRE DE LA CONCEPTION DE PORTUGAL
CHEVALIER DE L'ORDRE DE FRANÇOIS-JOSEPH D'AUTRICHE

CLICHY
IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE ET DES CHEMINS DE FER DE PAUL DUPONT
12, RUE DU BAC-D'ASNIÈRES, 12
—
1879


30

NOTICE

SUR

LE PONT DU DOURO, A PORTO

(PONT MARIA-PIA)

CLICHY. — IMPRIMERIE PAUL DUPONT, 12, RUE DU BAC-D'ASNIÈRES.

G. EIFFEL ET C[IE]
INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS
A LEVALLOIS-PERRET (SEINE)

GRAND PRIX A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878
CLASSE 66. — GÉNIE CIVIL

NOTICE

SUR LE

PONT DU DOURO, A PORTO

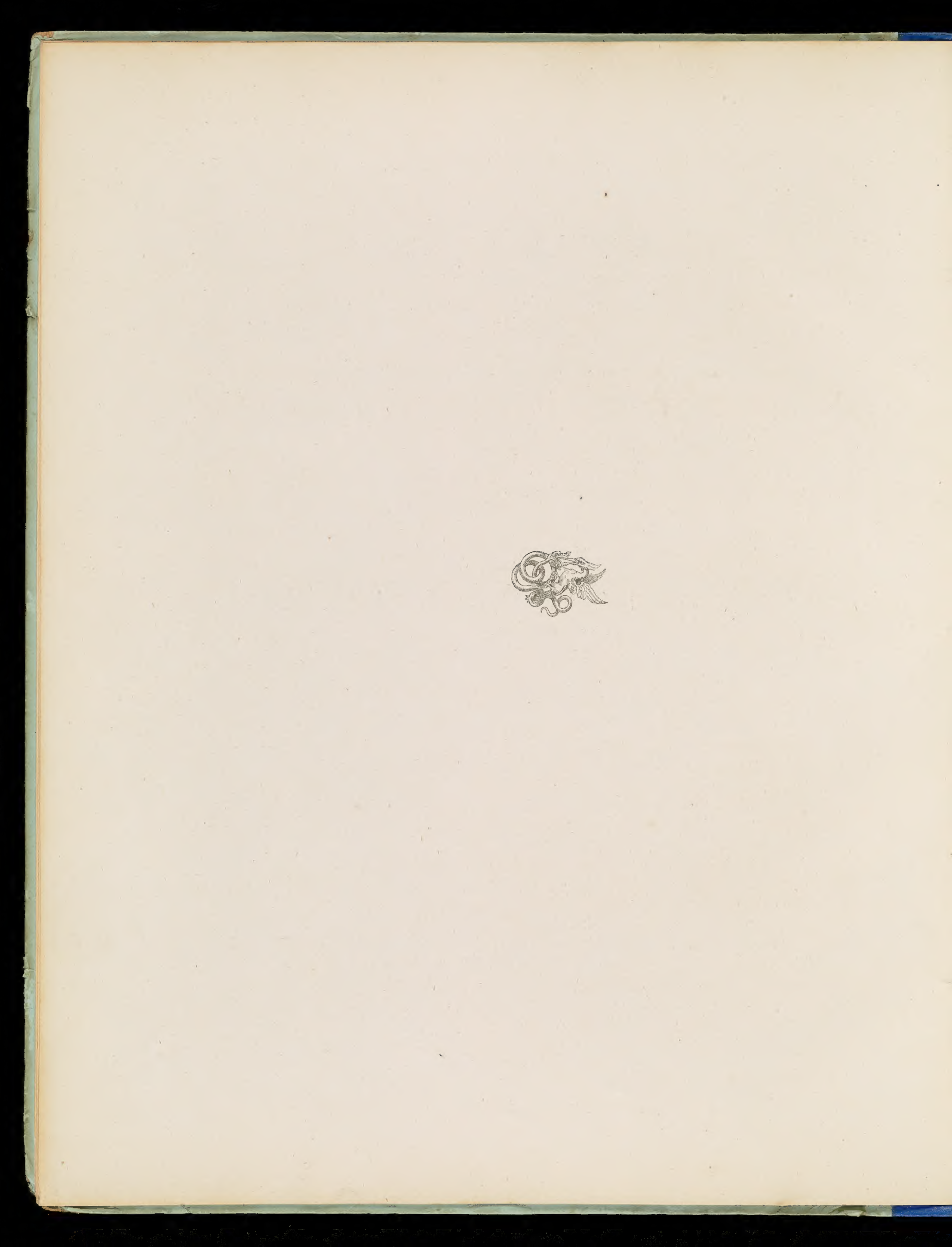
(PONT MARIA-PIA)

PAR

G. EIFFEL

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
COMMANDEUR DE L'ORDRE DE LA CONCEPTION DE PORTUGAL
CHEVALIER DE L'ORDRE DE FRANÇOIS-JOSEPH D'AUTRICHE

CLICHY
IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE ET DES CHEMINS DE FER DE PAUL DUPONT
12, RUE DU BAC-D'ASNIÈRES, 12
—
1879



NOTICE

SUR LE

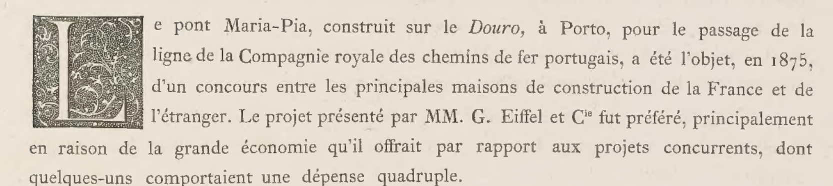
PONT DU DOURO, A PORTO

(PONT MARIA-PIA)

PAR

G. EIFFEL

§ I. — DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE



Le pont Maria-Pia, construit sur le *Douro,* à Porto, pour le passage de la ligne de la Compagnie royale des chemins de fer portugais, a été l'objet, en 1875, d'un concours entre les principales maisons de construction de la France et de l'étranger. Le projet présenté par MM. G. Eiffel et Cie fut préféré, principalement en raison de la grande économie qu'il offrait par rapport aux projets concurrents, dont quelques-uns comportaient une dépense quadruple.

Il fut, avant son exécution, soumis à un examen approfondi de la part d'une Commission composée de MM. Krantz, Molinos et de Dion; cet examen lui fut favorable et il fut exécuté à peu près tel qu'il avait été conçu.

Le *Douro* présentait, au point de passage qui a été choisi, des difficultés considérables pour l'établissement d'une pile en rivière: profondeur d'eau de 15 à 20 mètres, sol affouillable formé par une couche de gravier d'une épaisseur que la sonde n'a pu reconnaître, grande rapidité des courants, crues pouvant s'élever à 10 mètres, toutes

circonstances qui ont conduit à franchir le lit du fleuve par une travée unique de 160 mètres d'ouverture, la plus grande qui ait encore été réalisée pour des ponts autres que des ponts suspendus (1).

La cote du rail au-dessus des basses mers atteignait $61^{m},28$ (*voir* planche I). Par le choix d'un système approprié à une telle hauteur, cette circonstance, qui constituait une des difficultés du problème, pouvait au contraire être rendue favorable; et c'est à quoi l'on parvint en faisant reposer le tablier horizontal de la voie sur le sommet d'un grand arc métallique ayant pour flèche toute la hauteur dont on disposait et prenant ses points d'appui sur chacune des rives.

En dehors de l'arc, et dans les parties latérales, ce même tablier devait reposer sur des piles métalliques dont la hauteur variait, suivant la configuration du sol.

L'arc central, en raison de ses grandes dimensions, exigeait des dispositions spéciales.

En effet, les pièces des tympans par lesquels les arcs sont habituellement raidis, auraient eu, dans le cas actuel, des longueurs atteignant 35 ou 40 mètres. Leur calcul toujours très incertain, serait devenu avec ces dimensions à peu près impraticable, si l'on eût dû y faire intervenir les effets de la dilatation et ceux de la mobilité des charges. — On eût donc été conduit, par des raisons d'une prudence dont on ne connaissait pas la mesure, à employer en éléments accessoires, tels que les tympans, des quantités considérables de métal, sans que néanmoins il en résultât une sécurité absolue.

Il a paru préférable de supprimer complètement les tympans, en établissant l'arc avec une rigidité suffisante pour qu'il résistât par lui-même aux efforts de déformation résultant de l'inégale distribution des charges. Dans ce but, on lui donna la hauteur inusitée de 10 mètres à la clef. Vers les culées, où les efforts de flexion sont beaucoup moindres qu'à la clef, cette grande hauteur n'avait plus sa raison d'être : il y avait au contraire tout avantage à faire converger l'extrados et l'intrados sur l'appui où des rotules permettaient à l'arc de prendre librement ses mouvements et enlevaient en outre toute indétermination sur le point de passage des efforts. Aussi la forme adoptée fut celle d'un arc dont la fibre moyenne est parabolique et dont la hauteur va graduellement en diminuant de la clef aux naissances, l'arc affectant ainsi la figure très rationnelle d'un croissant.

L'extrados et l'intrados sont reliés entre eux par un système de montants verticaux et de croix de Saint-André constituant une paroi rigide à grands treillis qui assure leur complète solidarité.

Sur un ouvrage ayant les dimensions que nous venons d'indiquer, le vent devait exercer des efforts considérables; aussi, pour lui permettre de résister à la violence des tempêtes qui se produisent fréquemment dans cette partie très resserrée du fleuve, il était indispensable que

(1) Les plus grandes ouvertures connues sont :

Ponts à poutres droites :	Pont Britannia	140 mètres.
—	Pont de Kuilembourg.	150 mètres.
—	Grande travée du pont sur l'Ohio, à Cincinnati.	157 mètres.
Ponts en arc.	Pont de Saint-Louis, sur le Missisipi	158 m. 50 cent.

sa stabilité propre fût rendue suffisante par une grande largeur de base. D'autre part, le bon emploi de la matière exigeait que l'écartement à la partie supérieure ne fût que strictement suffisant pour la voie. Ce double but fut atteint en constituant l'arche par deux fermes métalliques en arc disposées dans des plans symétriquement inclinés, et écartées de $3^m,95$ à leur partie supérieure et de 15 mètres à leur base.

Dans le sens transversal, on les réunit par des cadres verticaux rigides, formant entretoises, que l'on fixa sur les montants des parois, et l'on compléta la liaison générale du système par des contreventements disposés dans les surfaces d'intrados et d'extrados.

Les retombées des arcs viennent buter sur des piles-culées implantées sur les rochers granitiques des deux rives, qui donnent des points d'appui d'une sécurité absolue. Chaque pile-culée se compose d'un soubassement de pile ordinaire, flanqué de deux éperons recevant les rotules d'appui. Leur partie résistante est formée de maçonnerie de moellons dont les plans d'assise sont normaux à la résultante des efforts exercés par l'arc. Au moment des épreuves et pendant la surcharge complète du pont, cette résultante dirigée sensiblement à 45°, s'est élevée à 427 tonnes par éperon.

Dans l'avant-projet primitif, le tablier droit du pont était dans toute sa hauteur superposé à l'arc, et le contact en était établi par un point d'appui unique. Mais dans l'étude définitive, en raison de l'intérêt qu'il y avait à diminuer la superficie exposée au vent, à augmenter la flèche de l'arc et à établir une liaison plus complète dans la construction, on releva l'extrados de l'arc jusqu'au niveau supérieur du tablier.

Entre les piles-culées et la clef, le tablier droit s'appuie sur une palée métallique fixée aux reins de l'arc : il se prolonge jusqu'aux culées, en reposant sur deux piles du côté de Porto, et sur trois piles du côté de Lisbonne. Il est formé par deux poutres droites de $3^m,50$ de hauteur et de $3^m,10$ d'écartement, comprenant entre elles la voie. Afin d'atténuer autant que possible les conséquences d'un déraillement, celle-ci est établie un peu au-dessous du niveau supérieur des poutres dont les tables horizontales forment ainsi garde-roues, et le platelage est constitué par des fers Zorès qui le rendent impénétrable aux locomotives.

Pour permettre à l'arc de se déformer sous l'effet des charges sans entraîner le tablier avec lui, celui-ci a été interrompu à sa rencontre avec l'extrados sur lequel il s'appuie par l'intermédiaire de rouleaux mobiles. Il existe des rouleaux semblables sur les palées des reins et sur toutes les autres piles, excepté sur les piles-culées où les appuis sont fixes. Les mouvements de dilatation des tabliers latéraux se produisent donc de part et d'autre de ces dernières. Ajoutons enfin que tous ces appuis sont montés sur rotules pour que les réactions restent toujours dans l'axe des piles.

L'intervalle compris à la clef entre les extrémités des tabliers latéraux, est franchi par un tablier central de forme spéciale et solidaire avec les arcs.

Les quatre montants de chaque pile sont constitués par des caissons rectangulaires en tôles et cornières, l'emploi de la fonte ayant été exclu comme offrant moins de sécurité que celui du fer.

En résumé, la partie métallique de l'ouvrage, qui est représentée dans son ensemble aux planches I et II et dans ses principaux détails à la planche VI, a une longueur de 352^{m},875 et se compose :

1° D'un grand arc de 160 mètres de corde et de 42^{m},60 de flèche moyenne, dont les reins soutiennent, à 25^{m},25 des culées, deux palées métalliques ;

2° D'un tablier central de 51^{m},88 de longueur, solidaire avec l'arc ;

3° D'un tablier latéral du côté de Lisbonne, de 169^{m},87 de longueur, divisé en deux travées de 28^{m},75 au-dessus de l'arche centrale, et dans la partie sur terre en trois travées de 37^{m},375 ;

4° D'un tablier latéral du côté de Porto, de 132^{m},80 de longueur, divisé comme le premier, sauf une travée de rive en moins.



§ II. — MONTAGE

Le montage des tabliers droits et des piles était relativement facile, et nous n'appellerons l'attention que sur les points suivants :

Les piles ont été montées à l'aide d'une grue spéciale en tôle à volée variable, dont le pivot, placé dans l'axe de la pile, pouvait s'élever en même temps que la construction à laquelle il était fixé. Avec cet engin, qui a rendu les services que l'on en attendait, le montage d'une pile de 43 mètres de hauteur n'exigeait qu'une durée de quinze jours.

Les tabliers étaient assemblés sur des plates-formes en terrassement, établies aux abords du pont, ils étaient amenés dans leur position définitive au moyen d'un lançage. — A cette occasion nous signalerons l'emploi des châssis à bascule à l'aide desquels il s'opéra et dont le système imaginé par nous est spécial à notre maison. — Ces châssis reçoivent des galets en fer qui sont actionnés directement par des leviers déterminant la translation du tablier, de façon que la tendance au renversement des piles qui en résulte peut être facilement annulée par une manœuvre convenable des leviers. En outre, ces châssis peuvent osciller autour de l'axe qui les supporte, de telle sorte que malgré les ressauts de la plate-bande inférieure, la réaction totale se partage toujours d'une manière absolument égale entre les galets, ce qui évite la surcharge de l'un d'eux et empêche surtout que la réaction ne se concentre dangereusement en l'un des points de la plate-bande inférieure.

Les piles ayant été construites d'abord (*voir* planches III et IV), on avança les tabliers droits jusqu'à ce qu'ils vinssent dépasser les piles-culées en occupant leur position définitive. Ils avaient ainsi au-dessus du fleuve un porte à faux de 31 mètres, et leurs panneaux pleins ainsi que leurs parties les plus résistantes se trouvaient au droit des piles.

Quant au montage de l'arche centrale (1), l'impossibilité absolue d'établir aucun échafau-

(1) Nous nous sommes rencontrés, dans les idées générales qui ont présidé à ce levage, avec les ingénieurs américains qui ont monté le grand pont de Saint-Louis, sur le *Mississipi*. — Mais ce n'est que pendant l'exécution de notre ouvrage et par le très intéressant Mémoire publié par M. l'ingénieur en chef Lavoinne, en 1877, dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, que nous eûmes connaissance des procédés mis en œuvre. — Les nôtres sont du reste beaucoup plus simples, grâce surtout à la présence des rotules aux retombées, que les ingénieurs américains regrettent de n'avoir pas employées au pont de Saint-Louis.

dage en rivière le rendait exceptionnellement difficile, et il a dû se faire tout entier en ne prenant d'autre point d'appui que la partie même déjà construite de l'ouvrage. Les pièces étaient successivement montées en porte à faux à partir de chacune des culées et l'on procédait par cheminement, en rattachant les pièces nouvelles à celles qui étaient déjà assemblées et rivées. — L'ensemble ainsi formé était maintenu en position par des câbles de retenue attachés aux tabliers à l'aplomb des piles-culées. La progression du montage avait lieu simultanément des deux côtés, et se continuait jusqu'à ce que l'on fût arrivé à la jonction à la clef des deux moitiés d'arc, qui étaient restées en porte à faux jusqu'au moment de cette jonction. La mise en place des différents tronçons se faisait à l'aide de bigues en charpente, placées sur la partie de l'arc déjà montée; ces bigues, actionnées par des treuils installés à terre, prenaient les tronçons d'arc dans les bateaux et les amenaient à leur place définitive. Leur déplacement, au fur et à mesure de l'avancement du montage, était facilité par un câble suspendu traversant la rivière et portant deux chariots qui servaient aussi au levage des pièces d'entretoisement.

Les câbles de retenue, qui maintenaient en position les parties d'arc déjà montées, étaient amarrés, au droit des piles-culées, à des sommiers établis sur les panneaux pleins des tabliers supérieurs; leur point d'attache sur l'arc était déplacé suivant l'importance variable du porte à faux. Ces câbles, au nombre de 8 paires par demi-arche, étaient en fil d'acier et formés chacun par 6 torons de 19 fils de $2^{m}/_{m},7$ de diamètre. Leur charge de rupture était de 80,000 kilogrammes par câble et correspondait à 120 kilogrammes par millimètre carré de section. Les deux brins composant chacune des paires de câbles étaient amarrés par des têtes spéciales sur les sommiers fixés au tablier supérieur et allaient embrasser un sabot semi-circulaire placé transversalement sous la membrure de l'extrados. Les tensions de ces deux brins étaient ainsi toujours égales.

Ces têtes de câbles méritent une description. On essaya d'abord de les constituer par le procédé américain qui consiste à détordre le câble, à en épanouir les fils dans une pièce en fer percée d'un trou conique, et à remplir les vides par une sorte de picotage fait avec des pointes d'acier et par une coulée de métal fondu. Cet essai ne donna pas de bons résultats : on reconnut que les fils avaient beaucoup souffert de ce picotage et que plusieurs étaient coupés. On perfectionna ce procédé, et on arriva à un résultat excellent en augmentant la conicité du trou, en épanouissant très régulièrement les fils tout autour du cône et en les serrant par un mandrin creux, également conique, ouvert en haut et percé d'un trou à sa base, que l'on chassait avec force dans le vide laissé par les fils épanouis. On repliait alors chacun des fils à l'intérieur du mandrin en les appuyant bien régulièrement sur le bord supérieur de celui-ci; et quand le tout était bien disposé et serré, on coulait dans le mandrin un alliage fusible très dur, qui commençait par se répandre dans le bas et refluait le long des fils à leur sortie du câble; puis le mandrin se remplissait, et le métal noyait les fils supérieurs. On formait ainsi une masse compacte, dans laquelle chaque fil était enveloppé par l'alliage et occupait une position absolument invariable. La tête ainsi constituée résistait,

sans traces de fatigue, aux efforts qui, dans les essais, amenaient la rupture du câble. L'expérience nous permet de recommander cette disposition pour toute attache de câble (1).

Pour donner aux câbles la tension nécessaire, on soulevait, avec des verrins hydrauliques, le bloc en fer portant la tête, et on introduisait des cales en fonte entre le bloc et le sommier. On est arrivé ainsi à régler très facilement cette tension, et c'est certainement à cette facilité de réglage qu'est dû, pour une grande partie, le succès du système adopté.

Pendant le montage (*voir* planche IV) l'ordre des opérations relatives à ces câbles fut le suivant: un échafaudage de 7 mètres de largeur avait été établi en avant de chaque culée pour servir à mettre en place le panneau plein des retombées de l'arc et amorcer le montage de chacune des fermes. Ce panneau placé, on suspendit son extrémité supérieure à une première paire de câbles, afin de ne pas surcharger l'échafaudage, et on monta le second panneau. A l'extrémité de celui-ci, on établit une seconde paire de câbles, ce qui permit de continuer le montage et de mettre en place deux nouveaux panneaux. Le porte à faux ainsi obtenu soulagea les câbles placés en premier lieu et permit de les dégager tout à fait, pour les reporter à l'extrémité du quatrième panneau, qui correspondait au premier arbalétrier de la palée des reins. En continuant ainsi, on put bientôt dégager les câbles placés en second lieu et les reporter à l'extrémité du cinquième panneau. Les deux paires de câbles déjà placées auraient été insuffisantes pour la continuation du montage, et avant d'aller plus loin on les doubla, de façon que chaque demi-ferme fut alors soutenue par quatre paires de câbles qui suffirent à la maintenir jusqu'au moment de la fermeture. On put donc ainsi monter l'arc complètement en porte à faux jusqu'à la clef, où la jonction se fit par l'intrados d'abord, par l'extrados en dernier lieu (*voir* planche V).

L'ensemble des huit câbles qui supportaient chaque demi-ferme était au moment du plus grand porte à faux, tendu par un effort de 100 tonnes; comme ces huit câbles s'attachaient en deux points de la ferme très rapprochés l'un de l'autre, cet effort était parfaitement déterminé et il n'était pas difficile à répartir également entre les huit câbles qui avaient une longueur très exactement réglée. Il comprimait les piles métalliques, et donnait en même temps une grande traction sur les tabliers horizontaux. Ceux-ci étant amarrés par de robustes tirants en fer soit au rocher, du côté Porto, soit à la culée, du côté Lisbonne, on n'avait à craindre aucun mouvement pendant l'opération.

Lors de la rencontre des deux demi-arcs d'intrados à la clef, on put constater que le travail à l'atelier et le montage avaient été faits avec assez de soin pour que, entre les deux portions d'arc, il n'existât, dans le sens horizontal, qu'une déviation d'un centimètre environ, qui disparut sous l'effet des broches de montage.

Dans le sens vertical, une plus grande latitude avait été réservée. L'élasticité des câbles, la flexion de l'arc pendant le montage en porte à faux, les variations dues à la température, faisaient désirer qu'au moment de la rencontre des pièces à la clef, on pût disposer d'une

(1) Une des têtes employées a été déposée à l'École des Ponts et Chaussées, qui a bien voulu accepter aussi le modèle du pont au $\frac{1}{50}$ que nous avons présenté à l'Exposition universelle de 1878.

certaine marge, et que la jonction définitive fût assurée par l'abaissement des deux portions d'arc l'une vers l'autre. Les têtes des câbles étaient, ainsi que nous l'avons précédemment indiqué, disposées de telle façon, qu'on pouvait, en enlevant les cales en fonte qui les supportaient, détendre successivement chacun d'eux. On savait, par des expériences précises, qu'une diminution de *un* centimètre dans la longueur des câbles correspondait à une diminution de *une* tonne dans leur tension; de sorte qu'en raccourcissant successivement chacun des seize câbles de cette quantité, on ne donnait aux câbles voisins que des accroissements de tension très faibles et que cependant on arrivait à la fin de l'opération à abaisser les points d'attache inférieurs de *un* centimètre et à faire descendre par conséquent l'arc entier d'une quantité proportionnelle. Il n'a pas été plus difficile, pendant le cours du montage, de produire des relèvements de l'ensemble en exerçant sur ces mêmes câbles des efforts successifs d'allongement relativement faibles. — Tous ces déplacements de l'arc, si faciles à obtenir en déterminant des rotations autour des rotules, nous ont permis de rester constamment maîtres de la position occupée dans l'espace par les abouts des parties montées. — Nous croyons que cet exemple de totalisation d'une série de déplacements très faibles, pour mouvoir de grandes masses, présente assez d'intérêt pour mériter les détails que nous venons de donner.

C'est en agissant ainsi sur chacune des têtes de câbles, qu'au moment de faire buter les deux parties d'arcs sur le trouçon formant la clef de l'intrados (*voir* planche V), il fut facile de descendre très lentement et très régulièrement chacune d'elles d'une quantité totale de 350 millimètres.

Quand le contact fut réalisé et que les joints furent faits, on soulagea rapidement tous les câbles afin d'éviter qu'un abaissement dans la température ne produisît des augmentations d'effort difficiles à évaluer, soit sur les câbles ou sur leurs amarrages, soit dans l'arc lui-même qui, par suite de sa fermeture à la clef, venait de perdre l'indépendance qu'avaient possédée jusqu'alors ses parties. A cet effet, le tablier s'appuyait sur la pile-culée par l'intermédiaire de boîtes à sable à l'aide desquelles on assura en quelques minutes l'effet voulu de la détente des câbles.

Une fois la clef d'intrados posée, tout danger sérieux disparaissait. On continua le montage jusqu'à ce que l'on fût arrivé à la pose de la clef d'extrados. Dès que la température des arcs fut devenue égale à celle du montage à plat à l'atelier, c'est-à-dire environ 15°, cette clef vint occuper sa position définitive sans la moindre difficulté et sans nécessiter aucune retouche ni alésage de trous. Ce résultat témoigna, à notre grande satisfaction, que l'arc monté avait rigoureusement la forme prévue, que les rotules étaient très exactement à la position qu'elles devaient occuper, et que la précision de la pose ne laissait rien à désirer.

L'arc terminé, on monta sans difficulté le tablier de la partie centrale, puis les palées des reins. Le montage des tabliers latéraux se compléta en opérant comme pour l'arc par un cheminement progressif en porte à faux, jusqu'à la rencontre des appuis d'extrados.

Ce mode de montage, encore peu usité pour les tabliers droits, est très rapide et peut rendre de grands services, surtout quand la mise en place par voie de lançage ne peut être pratiquée, et notamment quand il y a impossibilité d'établir des plates-formes aux abords.

§ III. — RÉSULTATS DES ÉPREUVES

es essais de l'arc furent faits environ cinq semaines après l'achèvement du pont et démontrèrent que sa rigidité était tout à fait remarquable.

Voici quels furent les résultats des épreuves :

1° *Surcharge générale de la travée centrale :*

Poids des machines et wagons formant le train........... 477 tonnes.
Soit, par mètre courant de tablier........................ 3,000 kilos.

Abaissement à la clef.............................. $15^{m}/_{m}$
Abaissement aux reins.............................. 8 —

2° *Surcharge de la moitié de la travée centrale, depuis la pile-culée jusqu'à la clef :*

Même charge au mètre courant que dans la première épreuve.

Abaissement à la clef.............................. $9^{m}/_{m}$
Abaissement aux reins, du côté chargé.............. 22 —
Relèvement aux reins, du côté non chargé........... 18 —

3° *Surcharge de la partie centrale, sur la moitié de la longueur de la travée :*

Abaissement à la clef.............................. $19^{m}/_{m}$
Abaissement aux reins.............................. 5 —

4° *Épreuve par poids roulant :*

1° Train de marchandises de 335 tonnes et de 135 mètres de longueur, marchant à une vitesse de 15 kilomètres :

Abaissement à la clef.............................. $15^{m}/_{m}$
Abaissement aux reins.............................. 10 —

2° Train de voyageurs, marchant à 31 kilomètres :

Abaissement à la clef.............................. $10^{m}/_{m}$
Abaissement aux reins.............................. 6 —

Il est intéressant de faire observer que ces flèches, qui sont extrêmement faibles pour une pareille portée, sont à très peu près conformes aux indications du calcul (1).

(1) A titre de comparaison, voici quelles ont été, d'après le mémoire de M. l'ingénieur en chef Lavoinne, les flèches observées au pont de Saint-Louis, sur le Mississipi, qui donne passage à deux voies ferrées parallèles surmontées d'une chaussée de 15 mètres pour voie charretière. — On n'a pas réalisé l'épreuve complète du pont, qui aurait consisté à charger les deux voies ferrées et la voie charretière sur toute la longueur d'une travée. — On s'est borné simplement, comme épreuve maxima, à faire stationner au milieu de l'une des travées, deux trains pesant en moyenne 340 tonnes l'un. (Le train d'épreuves du pont du Douro pesait 477 tonnes.)

Dans ces conditions, les abaissements à la clef ont été :

Pour l'une des travées extrêmes de.......... $73^{m}/_{m}$
et pour l'autre de.......................... 92 —

Ils sont trois à quatre fois supérieurs à ceux que nous venons de donner pour le pont du Douro.

§ IV. — RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Le poids des fers de cet ouvrage est de 1,450 tonnes dont 750 tonnes pour l'arc et 700 tonnes pour les tabliers et les piles. Le cube des maçonneries est de 4,000 mètres.

Le prix de revient par mètre superficiel en élévation a été de 81 francs.

Les travaux sur place, commencés en janvier 1876, furent terminés en septembre pour les maçonneries, les piles et les tabliers droits. Interrompus pendant l'hiver par les inondations, ils furent repris en mars 1877, par le montage de l'arc; la clef d'intrados fut posée le 27 août de la même année et la clef d'extrados le 24 septembre. Le montage complet de l'arc dura donc sept mois. Le pont fut entièrement terminé le 31 octobre.

L'inauguration eut lieu le 4 novembre 1877, en présence du roi Don Luiz Ier et de la reine Dona Maria Pia, et au milieu d'une affluence considérable de population. A cette occasion, le roi remit lui-même à M. G. Eiffel les insignes de Commandeur de l'ordre de la Conception.

Les collaborateurs de M. G. Eiffel ont été :

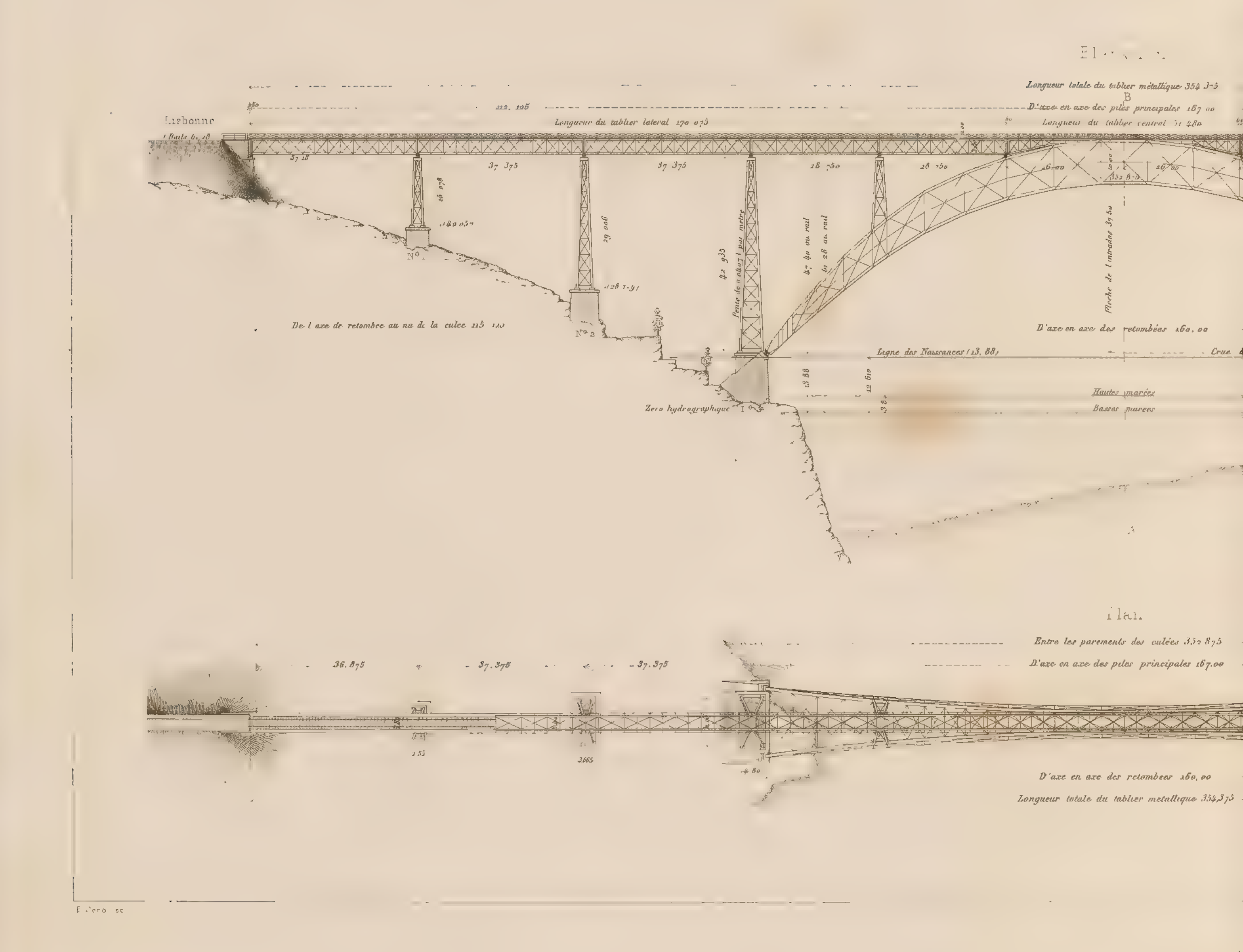
MM. T. Seyrig et H. de Dion, pour l'établissement des calculs et du projet; et MM. E. Nouguier, J. Collin et Angevère, pour le montage et les travaux sur place.

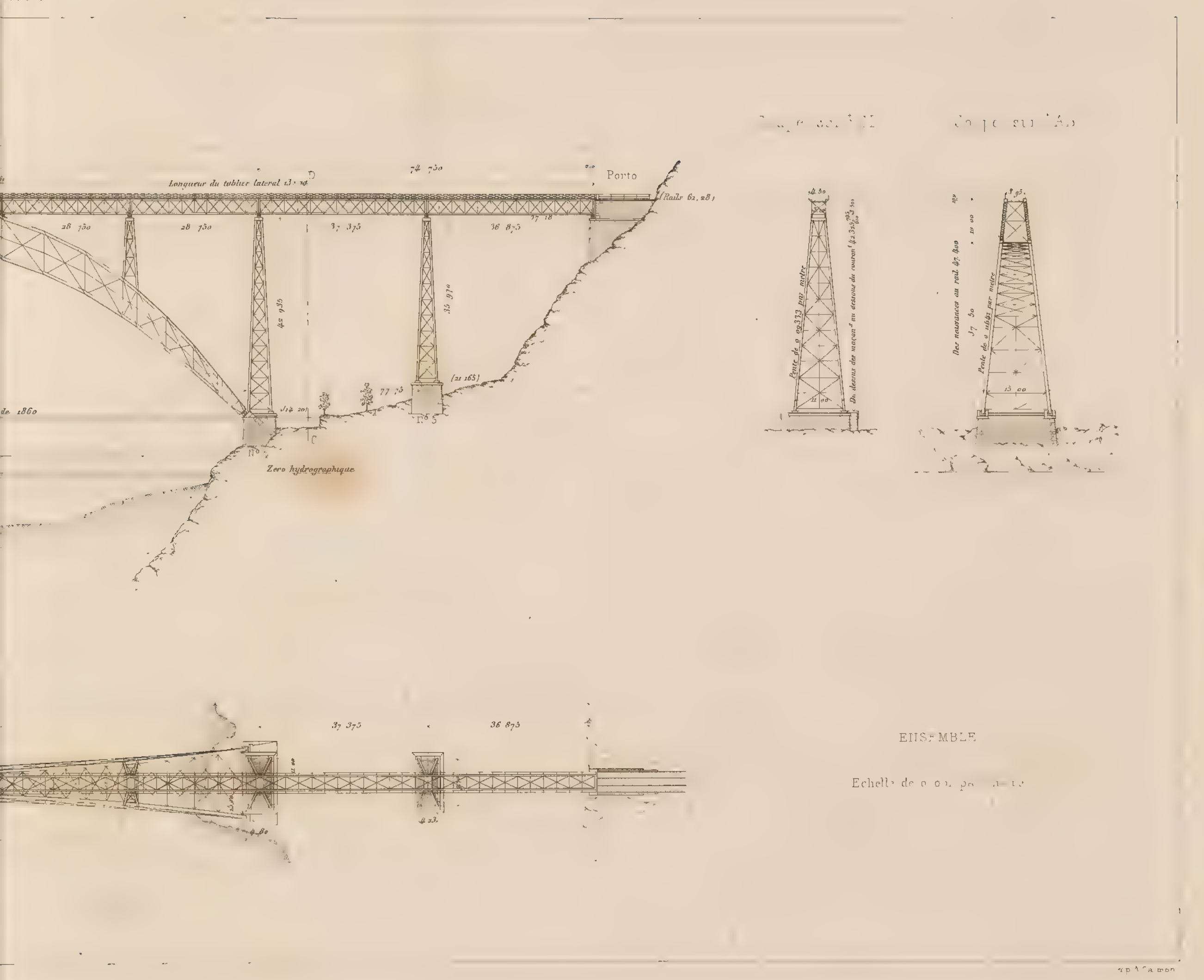
La Compagnie royale des chemins de fer portugais était représentée par ses administrateurs délégués, MM. de la Gandara et O. Sampaio; son ingénieur-conseil, M. S. Lefrançois; son directeur, M. d'Espregueira, et par l'ingénieur en chef de la construction, M. P.-J. Lopez.



PLANCHES

PONT SUR LE DOURO À PO



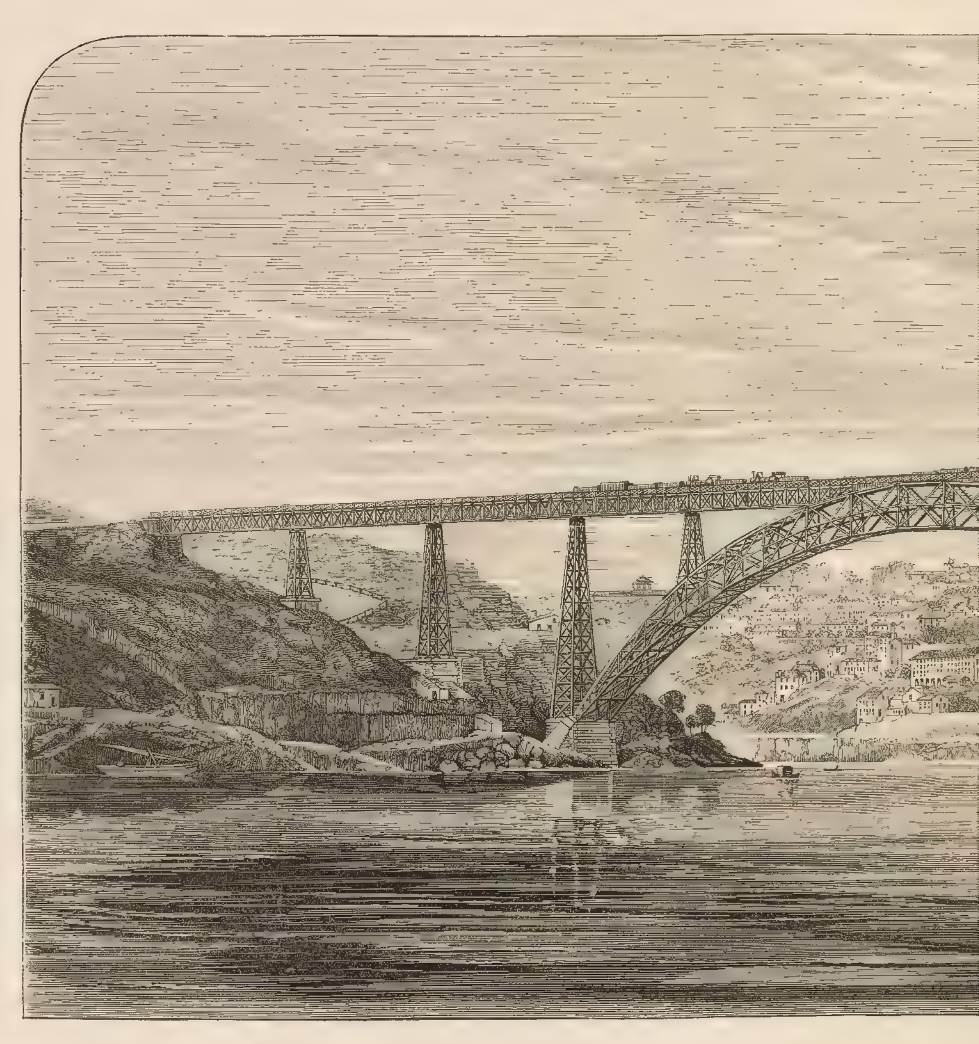


ENSEMBLE

Echelle de ...

PONT "MARIA PIA

PROJETÉ ET EXÉCUTÉ PAR MM. G. EIFFEL ET CIE, INGÉN



A" SUR LE DOURO.

IEURS-CONSTRUCTEURS, À LEVALLOIS-PERRET PRÈS PARIS.



PONT "MARIA PIA" SUR LE DOURO.

PROJETÉ ET EXÉCUTÉ PAR MM. G. EIFFEL ET CIE., INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS, À LEVALLOIS-PERRET PRÈS PARIS.



PONT "MARIA PIA" SUR LE DOURO.

PROJETÉ ET EXÉCUTÉ PAR MM. G. EIFFEL ET CIE., INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS, À LEVALLOIS-PERRET PRÈS PARIS.



REPRODUIT D'ENGINEERING, 21 JUIN, 1878.

PONT "MARIA PIA"

PROJETÉ ET EXÉCUTÉ PAR MM. G. EIFFEL ET CIE. INGÉNIEU



SUR LE DOURO.

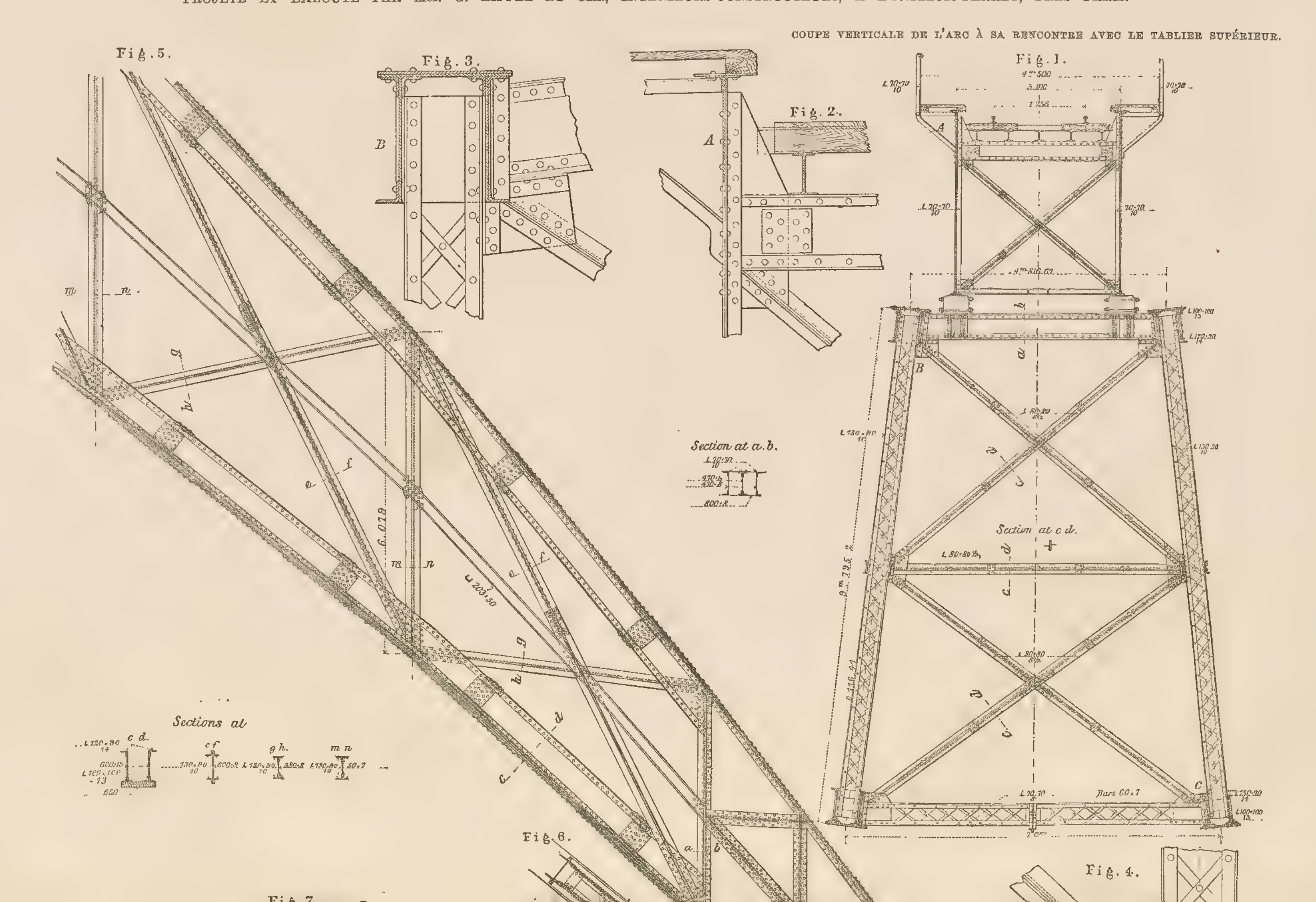
RS-CONSTRUCTEURS, À LEVALLOIS-PERRET PRÈS PARIS.

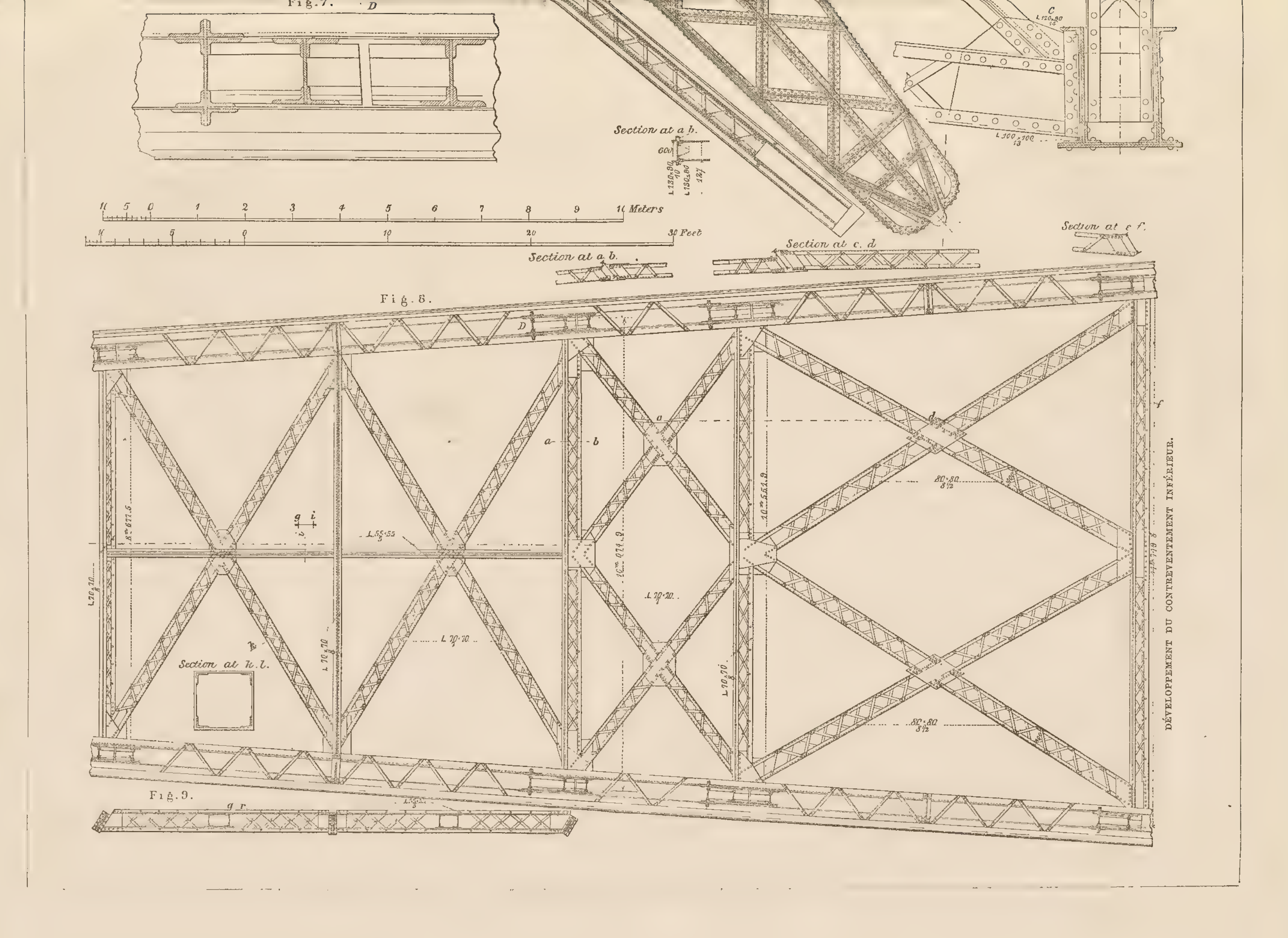


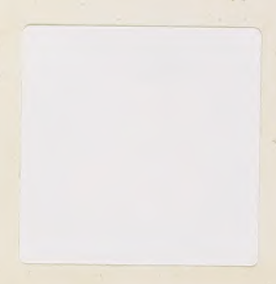
PONT "MARIA PIA" SUR LE DOURO.

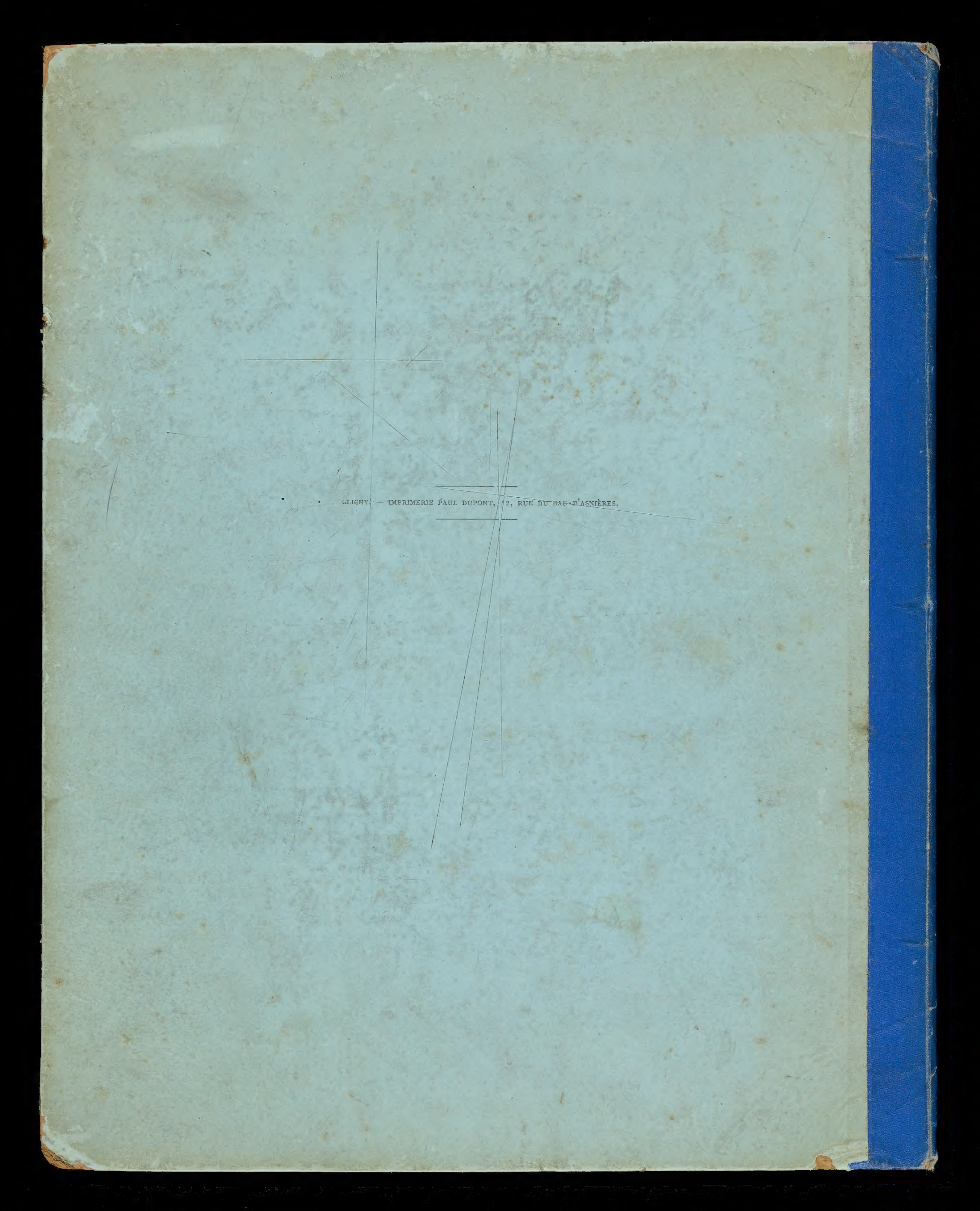
PROJETÉ ET EXÉCUTÉ PAR MM. G. EIFFEL ET CIE., INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS, À LEVALLOIS-PERRET, PRÈS PARIS.

COUPE VERTICALE DE L'ARC À SA RENCONTRE AVEC LE TABLIER SUPÉRIEUR.




Fig. 7.
Section at a b.
Meters
Feet
Section at c f.
Section at c. d
Section at a b.
Fig. 8.
Section at h. l.
Fig. 9.
DÉVELOPPEMENT DU CONTREVENTEMENT INFÉRIEUR.





CLICHY. — IMPRIMERIE PAUL DUPONT, 12, RUE DU BAC-D'ASNIÈRES.